

Технічні науки

УДК 536.24:533

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України, завідував відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Фиалко Наталия Михайловна

*доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент НАН Украины, заведующая отделом
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of NAS of Ukraine, Head of the Department
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Прокопов Віктор Григорович

*доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Прокопов Виктор Григорьевич

*доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Prokopyov Viktor

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Шеренковський Юлій Владиславович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник*

Інститут технічної теплофізики НАН України

Шеренковский Юлий Владиславович

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник*

Институт технической теплофизики НАН Украины

Sherenkovskiy Julii

Candidate of Technical Sciences (PhD),

Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Меранова Наталія Олегівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник*

Інститут технічної теплофізики НАН України

Меранова Наталия Олеговна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник*

Институт технической теплофизики НАН Украины

Meranova Nataliia

Candidate of Technical Sciences (PhD),

Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Альошко Сергій Олександрович

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Алёшко Сергей Александрович

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Aleshko Sergey

Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Ганжа Марк Володимирович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Ганжа Марк Владимирович

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Hanzha Mark

Junior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Кліщ Андрій Володимирович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Клищ Андрей Владимирович

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Klishch Andriy

Junior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Бабак Віталій Павлович

доктор технічних наук, професор,

член-кореспондент НАН України, завідував відділу

Інститут технічної теплофізики НАН України

Бабак Виталий Павлович

доктор технических наук, профессор,

член-корреспондент НАН Украины, заведующий отделом

Институт технической теплофизики НАН Украины

Babak Vitaliy

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Щепетов Віталій Владимирович

доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Щепетов Виталий Владимирович

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Shchepetov Vitaliy

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Харченко Сергій Дмитрович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Харченко Сергей Дмитриевич

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Kharchenko Sergiy

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

**ВПЛИВ НАВАНТАЖЕННЯ ВОГНЕТЕХНІЧНОГО ОБ’ЄКТА НА
ТЕПЛОВИЙ СТАН МІКРОФАКЕЛЬНИХ ПАЛЬНИКОВИХ
ПРИСТРОЇВ З БАГАТОШАРОВИМИ ПОКРИТТЯМИ
ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ ОГНЕТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА
ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ
УСТРОЙСТВ С МНОГОСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ
INFLUENCE OF THE FIRE-TECHNICAL FACILITY LOAD ON
THE HEAT STATE OF MICROJET BURNER DEVICES WITH
MULTILAYER COATINGS**

Анотація. Наведено результати CFD моделювання температурних режимів мікрофакельних пальників з захисними багатoshаровими покриттями при варіюванні у широких межах навантаження вогнетехнічних об'єктів, оснащених даними пальниками.

Ключові слова: захисні багатoshарові покриття, CFD моделювання, мікрофакельні пальники.

Аннотация. Приведены результаты CFD моделирования температурных режимов микрофакельных горелок с защитными многослойными покрытиями при варьировании в широких пределах нагрузки огнетехнических объектов, оснащенных данным горелками.

Ключевые слова: защитные многослойные покрытия, CFD моделирования, микрофакельные горелки.

Summary. The results of CFD simulation of temperature regimes of microjet burners with protective multilayer coatings are presented, when the load of fire-technical facilities equipped with these burners varies over a wide range.

Key words: protective multilayer coatings, CFD simulation, microjet burners

Мікрофакельні пальники стабілізаторного типу мають суттєві достоїнства і широко застосовуються у вогнетехнічних об'єктах різного призначення. Серед експлуатаційних вимог, які висуваються до даних пальників, є вимоги щодо їх теплового стану. При цьому основна з них полягає у забезпеченні рівнів температур елементів пальників, що не перевищують задані допустимі значення. Виконання цієї вимоги пов'язано із застосуванням різних підходів до організації сприятливих температурних режимів мікрофакельних пальників. До ефективних підходів належить,

зокрема, застосування на зовнішніх поверхнях пальників термозахисних покриттів [1-7]. Викладене зумовлює актуальність аналізу можливостей даного підходу стосовно до пальників вищезазначеного класу.

Вказаний підхід зазвичай застосовується в комбінації зі спеціальними системами охолодження пальників, що розглядаються. При цьому, як правило, використовуються відносно прості системи, які не занадто ускладнюють конструкцію пальникового пристрою та характеризуються порівняно незначними експлуатаційними витратами на прокачку охолоджувального агента. В даній роботі розглядається система так званого самоохолодження, в якій роль охолоджувального агента виконує природний газ перед його надходженням власне на спалювання.

Отже, за таких умов ефективність застосування захисних покриттів буде значною мірою визначатися навантаженням вогнетехнічного об'єкта, в який інтегровано даний пальник з покриттями. Дійсно, в системах самоохолодження пальникових пристроїв витрата охолоджувального агента змінюється у відповідності зі зміною навантаження вогнетехнічного об'єкта, а відтак умови охолодження будуть найбільш несприятливими для ситуацій, що відповідають пониженим навантаженням цих об'єктів.

Щодо граничних можливостей застосування термозахисних покриттів в мікрофакельних пальниках з системами самоохолодження, то вони, очевидно відповідають ситуації достатньо різкого скидання навантаження вогнетехнічного об'єкта від номінального до мінімально допустимого.

З огляду на вищевикладене, в даній статті розглядаються закономірності впливу навантаження вогнетехнічного об'єкта на тепловий стан мікрофакельних пальників з термозахисними покриттями та спеціальною системою самоохолодження.

В роботі розглядається мікрофакельний пальник, що складається з окремих стабілізаторів полум'я. Схему одного з них наведено на рис.1. В системі самоохолодження кожного модуля реалізується обдув внутрішньої торцевої поверхні стабілізатора полум'я плоским імпактним струменем. Покриття включає чотири шари і наноситься на ділянку зовнішньої поверхні стабілізатора, яка охоплює його торець та прилеглу до нього частину бічної поверхні (рис.1).

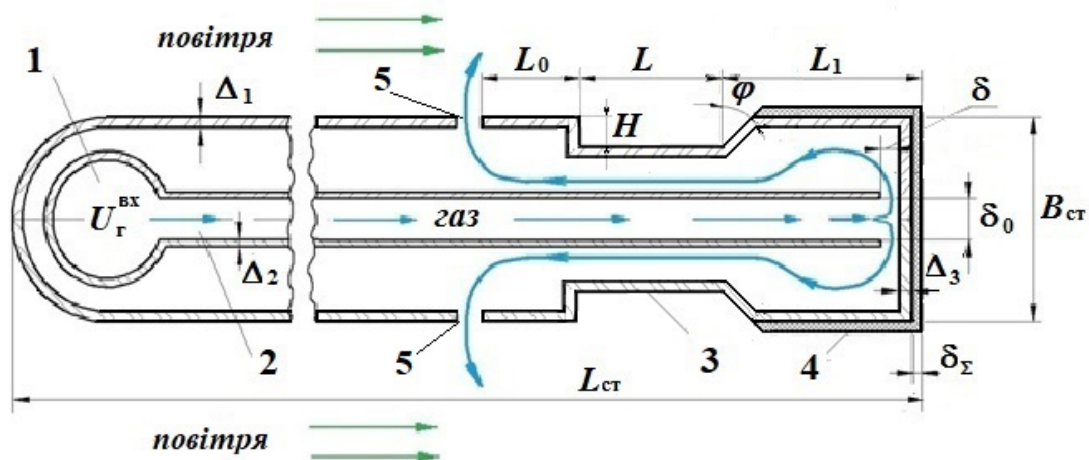


Рис. 1. Схема стабілізатора полум'я та його системи охолодження з обдувом торцевої поверхні стабілізатора плоским імпактним струменем:

1 – газоподавальний колектор; 2 – канал для охолоджувального газу; 3 – нішева порожнина; 4 – захисне покриття; 5 – газоподавальні отвори

Для проведення досліджень теплового стану пальників з покриттями застосовувався метод комп'ютерного моделювання. Даний метод набуває все більш широкого використання для досліджень робочих процесів пальників різного призначення [8-16]. Це пов'язано з такими його перевагами, як відносна простота проведення багатоваріантних розрахунків, отримання локальних характеристик досліджуваних процесів тощо.

Нижче на рис. 2 - 4 наведено характерні результати комп'ютерного моделювання при таких вихідних даних: витрата природного газу

$G = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$, що відповідає 100% навантаженню вогнетехнічного об’єкта; коефіцієнт надлишку повітря дорівнював 1,1; температура газу на вході в систему охолодження $t_{\text{г}}^{\text{вх}} = 15^\circ\text{C}$; температура повітря на вході в пальниковий пристрій $t_{\text{в}}^{\text{вх}} = 20^\circ\text{C}$; матеріал стінки стабілізатора полум’я – сталь 12Х18Н9Т; коефіцієнт загромождження прохідного перерізу каналу $k_f = 0,3$; діаметр газоподавальних отворів $d_{\text{г}} = 0,004 \text{ м}$; відносний крок розташування отворів $S/d_{\text{г}} = 3,33$; довжина стабілізатора $L_{\text{ст}} = 0,225 \text{ м}$; ширина стабілізатора $B_{\text{ст}} = 0,030 \text{ м}$; $L_0 = 0,016 \text{ м}$; $L = 0,024 \text{ м}$; $L_1 = 0,033 \text{ м}$; $\Delta_1 = 0,0015 \text{ м}$; $\Delta_2 = 0,001 \text{ м}$; $\Delta_3 = 0,002 \text{ м}$; $\delta_0 = 0,006 \text{ м}$; $\delta_3 = 0,003 \text{ м}$; покриття включало чотири шари – перший адгезійний шар зі силікатного скла, що наноситься на зовнішню поверхню стабілізатора полум’я, другий – теплозахисний шар з керамічного матеріалу; третій – з боросилікатного скла і четвертий зовнішній теплозахисний зносостійкий шар; коефіцієнти теплопровідності $\lambda_{\text{п}i}$ та товщина $\delta_{\text{п}i}$ вказаних шарів складала відповідно – $\lambda_{\text{п}1} = 0,55 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\delta_{\text{п}1} = 0,0002 \text{ м}$; $\lambda_{\text{п}2} = 0,89 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\delta_{\text{п}2} = 0,0002 \text{ м}$; $\lambda_{\text{п}3} = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\delta_{\text{п}3} = 0,0003 \text{ м}$; $\lambda_{\text{п}4} = 0,82 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\delta_{\text{п}4} = 0,0002 \text{ м}$; в ході досліджень навантаження вогнетехнічного об’єкта змінювалось від 20% до 100%.

Характерні результати виконаних досліджень ілюструють рис. 2 -4.

Картину течії охолоджувального газу у внутрішній порожнині стабілізатора при навантаженні вогнетехнічного об’єкта, що дорівнює 100%, ілюструє рис. 2. Як видно, потік газу з плоского каналу, ударяючись об торцеву поверхню стабілізатора, розтікається уздовж неї і далі, огинаючи нішу, надходить в газоподавальні отвори. При цьому в приторцевій зоні стабілізатора утворюється великий вихор, зовнішня поверхня якого обмежує прилеглий до внутрішньої стінки каналу потік, де з досить високою швидкістю рухається охолоджувальний газ. Тобто цей вихор в певному сенсі

виконує функцію обмежувача потоку газу, за допомогою якого формується вузький канал для течії охолоджувача уздовж поверхні стабілізатора. Течія охолоджувального газу характеризується також наявністю другого великого вихору поблизу передньої стінки ніші і, крім того, ряду дрібних вихорів в кутових зонах стабілізатора полум'я. Розглянуті особливості течії природного газу в системі охолодження багато в чому визначають температурний режим стінки стабілізатора полум'я.

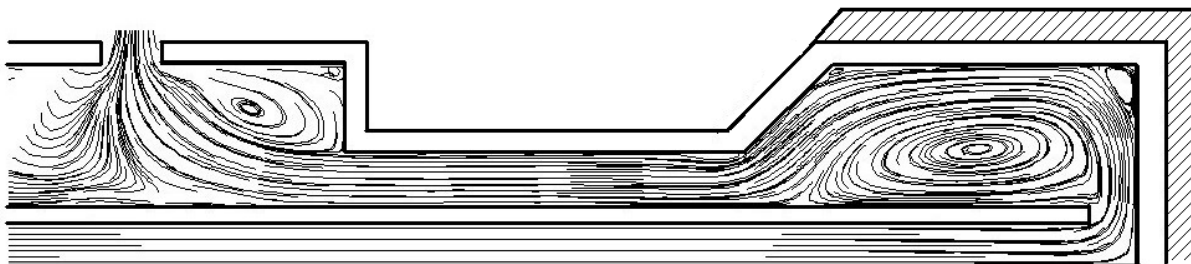


Рис. 2. Картина ліній течії газу в поздовжньому перерізі стабілізатора, що проходить через вісь газоподавальних отворів при обтіканні стабілізатора плоским імпактним струменем

Одержані дані свідчать також, що характер течії у системі охолодження стабілізатора полум'я якісно не змінюється при зменшенні навантаження вогнетехнічного об'єкта.

На рисунку 3 наведено розподіл температури вздовж фрагмента зовнішньої поверхні стабілізатора полум'я, починаючи від зривної кромки нішової порожнини і закінчуючи серединою торцевої поверхні стабілізатора полум'я, при різних навантаженнях N вогнетехнічного об'єкта (20...100%).

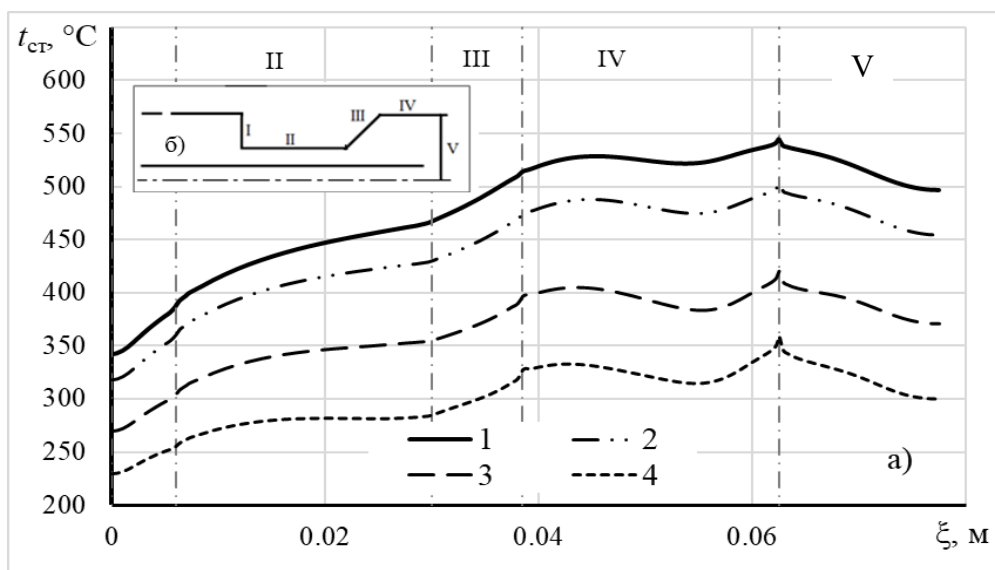


Рис. 3. Розподіл температури вздовж зовнішньої поверхні стінки стабілізатора пального пристрою при різних навантаженнях вогнетехнічного об'єкта (а) та розташування характерних зон на даній поверхні (б):

1 - $N=20\%$, 2 - 30% ; 3 - 60% ; 4 - 100%

Як видно, зі зменшенням навантаження N спостерігається зростання температури на вказаному фрагменті поверхні. При цьому характер розподілу температури при різних значеннях навантаження N виявляється якісно однаковим. А саме, максимальне значення температури має місце на затупленій задній кромці стабілізатора полум'я. З віддаленням від даної кромки вздовж торцевої поверхні стабілізатора його температура знижується. При цьому рівень даного зниження дещо зменшується з падінням навантаження N . З віддаленням від вказаної кромки вздовж бічної поверхні стабілізатора полум'я зміна температури має хвилеподібний характер. Щодо амплітуди даної температурної хвилі, то вона помітно зростає зі збільшенням навантаження вогнетехнічного об'єкта. На поверхні, що відповідає нішовій порожнині, спостерігається в цілому досить різке зниження температури. Воно виявляється тим суттєвішим, чим менше величина навантаження N .

Згідно з одержаними даними температура на зовнішній поверхні стабілізатора полум'я не перевищує допустиму величину (550°C) при всіх навантаженнях вогнетехнічного об'єкта.

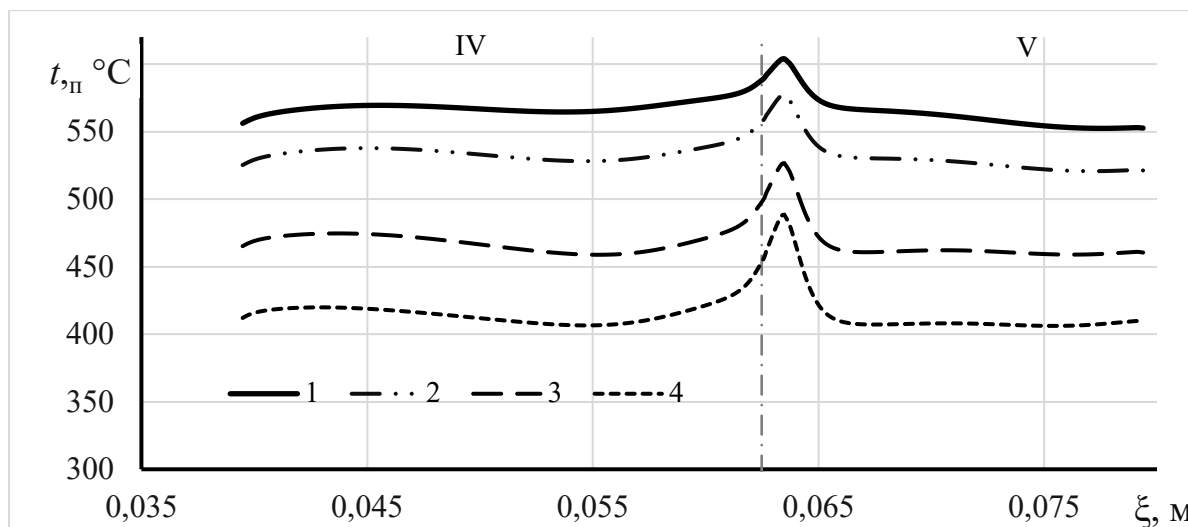


Рис. 4. Розподіл температури вздовж зовнішньої поверхні багатoshарового покриття при різних навантаженнях вогнетехнічного об'єкта:

1 - $N = 20\%$; 2 - 30% ; 3 - 60% ; 4 - 100%

Рисунок 4 ілюструє розподіл температури на зовнішній поверхні багатoshарового покриття при різних навантаженнях вогнетехнічного об'єкта. (Тут IV, V – характерні зони поверхні, позначені на рис. 3б). Як видно, температура покриття помітно перевищує температуру стінки стабілізатора полум'я у відповідних точках при всіх значеннях N . Вказаний розподіл температури при різних значеннях N характеризується, по-перше, наявністю максимуму на зривній кромці стабілізатора з покриттям, по-друге, досить різким падінням температури з віддаленням від даного максимуму, і несуттєвою зміною температури при подальшому віддаленні від зривної кромки як вздовж торця стабілізатора, так і його бічної поверхні.

Отже, виконані дослідження показали, що навантаження вогнетехнічного об'єкта, оснащеного мікрофакельними пальниками з

багатошаровими покриттями, спричиняє суттєвий вплив на температурний режим даних пальників.

Література

1. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Ганжа М.В., Юрчук В.Л., Швецова Л.А. Комп'ютерне моделювання процесів теплопереносу в мікрофакельних пальникових пристроях з термобар'єрними покриттями. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. 27(5). С. 130-133.
2. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Прокопов В.Г., Полозенко Н.П., Меранова Н.О., Алешко С.А., Іваненко Г.В., Юрчук В.Л., Милко Е.І., Ольховская Н.Н. Моделирование структуры течения в эшелонированных решетках стабилизаторов при варьировании шага их смещения. Восточно-европейский журнал передовых технологий 2015. т.2, №8(74). С.29-34.
3. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovsky Ju.V., Aleshko S.A., Hanzha M.V., Polozenko N.P., Maletskaya O.E., Kutniak O.N., Regragui A., Donchak M.I. Mathematical modeling of temperature regimes of burners of stabilizer type with thermo-barrier coatings. Технологические системы. 2018. 2(38). С. 41-47.
4. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskyi Ju. V., Aleshko S.A., Meranova N.O., Yurchuk V.L., Hanzha M.V. Modeling of heat transfer processes in stabilizer burners with heat-resistant coatings. The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27-28, 2018. Brno: Baltija Publishing. P. 189-192.
5. Фіалко Н.М., Алешко С.А., Юрчук В.Л., Малецкая О.Е., Ганжа М.В., Милко Е.І., Ольховская Н.Н., Кутняк О.Н., Реграги А., Евтушенко А.А.

- Температурные режимы стабилизаторных горелок при нанесении термобарьерных покрытий на различные участки их поверхности. *Journal of New Technologies in Environmental Science*. 2018. (3). P. 121-124.
6. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Альошко С.О., Ганжа М.В., Юрчук В.Л., Мілко Є.І., Озеров А.А. Тепловий стан мікрофакельних пальникових пристроїв при нанесенні термобар'єрного покриття на теплонапружені ділянки їх поверхні. Сборник трудов «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики». Институт промышленной экологии. К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2019. С. 140-144.
 7. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Ганжа М.В., Юрчук В.Л., Швецова Л.А. Тепловое состояние стабилизаторных горелок с защитными покрытиями. Сборник трудов «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики». Институт промышленной экологии. К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины. 2017. С. 102-105.
 8. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Алешко С.А., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Тимощенко А.Б., Абдулин М.З., Бутовский Л.С. Эффективность систем охлаждения горелочных устройств струйно-стабилизаторного типа. *Технологические системы*. 2012. № 1. С. 52-57.
 9. Fialko N.M., Aleshko S.A., Rokitko K.V., Maletskaya O.E., Milko E.I., Kutnyak O.N., Olkhovskaya N.N., Regragui A., Donchak M.I., Evtushenko A.A. Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-sided fuel supply. *Технологические системы*. 2018. 3(38). С. 37-43.

10. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Бутовский Л.С., Абдулин М.З., Полозенко Н.П., Клищ А.В., Стрижеус С.Н., Тимощенко А.Б. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.5. С. 136-142.
11. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Абдулин М.З., Бутовский Л.С., Полозенко Н.П., Клищ А.В., Стрижеус С.Н., Тимощенко А.Б. Влияние пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения и смесеобразования топлива и окислителя в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.6. С.114-121.
12. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Бутовский Л.С., Абдулин М.З., Полозенко Н.П., Клищ А.В., Стрижеус С.Н., Тимощенко А.Б. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. Восточно-европейский журнал передовых технологий 2014. Т.3. №8(69). С.40-44.
13. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Майсон М.В., Абдулін. М.З., Хомук С.В., Єніна А.О., Новицький В.С., Тимощенко О.Б. Підвищення інтенсивності процесів переносу в циліндричному стабілізаторному пальнику шляхом застосування прямокутних кільцевих ніш. Сборник трудов «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики». Інститут промислової екології. К.: ИПЦ АЛКОН НАН України. 2014. С. 122-125.
14. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Меранова Н.О., Абдулин М.З., Бутовский Л.С., Миргородский А.Н. Компьютерное моделирование процессов переноса в системе

охладения горелочных устройств стабилизаторного типа. Промышленная теплотехника. 2012. №1. С. 64-71.

15. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Алёшко С.А., Абдулин М.З., Рокитько К.В., Малецкая О.Е., Милко Е.И., Ольховская Н.Н., Реграги А., Евтушенко А.А. Компьютерное моделирование течения в микрофакельных горелочных устройствах с асимметричной подачей топлива. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. 28(8). С. 117-121.
16. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Альошко С.О., Меранова Н.О., Рокитько К.В. CFD моделювання температурних режимів зони горіння пальників стабілізаторного типу з асиметричною подачею палива. Теплофізика та теплоенергетика. 2019. №4. С. 13-18.